



JC841 U.S. PRO
09/694211
10/23/00

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 51 341.4

Anmeldetag: 25. Oktober 1999

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur bewegungskompensierenden
Prädiktion von Bewegtbildern sowie Einrich-
tung hierzu

IPC: H 04 N, G 06 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. September 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

Nietiedt

25.10.99 Sk/Mi

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren zur bewegungskompensierenden Prädiktion von
Bewegtbildern sowie Einrichtung hierzu

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur
bewegungskompensierenden Prädiktion von Bewegtbildern unter
Verwendung einer Interpolation.

Standardisierte Verfahren zur Codierung von Bewegtbildern
20 (H. 263, MPEG-2, MPEG-4, etc.) beruhen auf dem Prinzip der
sogenannten hybriden Codierung [1]. Fig. 1 zeigt das
Blockschaltbild eines hybriden Video-Encoders mit
bewegungskompensierender Prädiktion. Dabei wird das aktuell
zu codierende Bildsignal $s(t)$ mit Hilfe der
25 bewegungskompensierenden Prädiktion (motion compensation MC)
aus dem vorangegangenen, bereits übertragenen Referenzbild
 $s'(t-1)$ vorhergesagt. Die bewegungskompensierende Prädiktion
wird mit Hilfe sogenannter blockweiser Bewegungsvektoren
 $d(t)$ durchgeführt, die mit Hilfe einer Bewegungsschätzung
30 (motion estimation ME) ermittelt werden. Sie geben für jeden
Block der Größe 8 x 8 bzw. 16 x 16 Bildpunkte des aktuellen
Bildes die Position des zur Prädiktion benutzten Blockes in
dem bereits übertragenen Referenzbild $s'(t-1)$ an. Das
Resultat der bewegungskompensierenden Prädiktion ist das
35 Prädiktionssignal $\hat{s}(t)$. Der verbleibende Prädiktionsfehler

$e(t) = s(t) - \hat{s}(t)$ am Ausgang des Intraframe-Encoders IE sowie die Bewegungsvektoren $d(t)$ werden codiert und übertragen. Zur Gewinnung des Referenzbildes $s'(t-1)$ wird der intraframe-encodierte Prädiktionsfehler $e(t)$ wieder
5 decodiert (intraframe decoder ID) und zum Prädiktionssignal $\hat{s}(t)$ addiert. Mit Hilfe eines Bildspeichers z^{-1} wird das Referenzbild $s'(t-1)$ bereitgestellt. Dieses Referenzbild $s'(t-1)$ dient sowohl als Eingangssignal zur
10 Bewegungskompensation MC als auch zur Bewegungsschätzung ME. Die Bewegungsschätzung ME liefert an Hand des aktuellen Bildes $s(t)$ und des Referenzbildes $s'(t-1)$ einen
Bewegungsvektor für jeweils einen Block von Bildpunkten mit denen die Bewegungskompensation MC gesteuert wird; d. h. Bildpunkte eines Blockes werden an Hand des Bewegungsvektors
15 verschoben.

In den bisher standardisierten Codierverfahren beträgt die Amplitudenauflösung der Bewegungsvektoren einen halben Bildpunkt. Für die Schätzung und Kompensation müssen daher
20 im Bild $s'(t-1)$ Bildpunkte zwischen dem Abtastraster interpoliert werden, was einer Erhöhung der Abtastrate um den Faktor $L=2$ entspricht. Zum Beispiel werden im MPEG-4 Verifikationsmodell [1] diese Bildpunkte durch eine bilineare
25 Interpolationsfilterung aus den Bildpunkten auf dem Abtastraster erzeugt (siehe Fig.2). Im folgenden wird das aus $s'(t-1)$ interpolierte Bild mit $s'u(t-1)$ bezeichnet.

Mit der Interpolationsvorschrift:

30
$$a=(A+B)//2, \quad b=(A+B+C+D)//4, \quad c=(A+C)//2$$

werden zwischen den Abtastwerten "O" interpolierte Werte "+" erzeugt. "/" kennzeichnet eine gerundete Ganzzahl-Division.

Wie in [2], [3] und [4] beschrieben, wird die Interpolation und damit die bewegungskompensierende Prädiktion durch unterschiedliches Aliasing im Bildsignal $s(t)$ und Prädiktionssignal $\hat{s}(t)$ gestört, so daß eine höhere
5 Genauigkeit der Bewegungsvektoren bei Verwendung der einfachen bilinearen Interpolation keine weitere Verbesserung der Codiereffizienz ermöglicht. Aus diesem Grund sind verbesserte Verfahren zur Erzeugung des Prädiktionssignals vorgeschlagen worden [2] und [4]. Dabei
10 wird das Aliasing-Signal im Prädiktionssignal durch ein N-stufiges aliasingreduzierendes "Finite Impulse Response" (FIR) Filter reduziert.

15 Vorteile der Erfindung

Mit den Maßnahmen des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 4 kann das Prädiktionssignal $\hat{s}(t)$ in einer Beziehung ähnlich dem Bildsignal $s(t)$ erzeugt werden inklusive Aliasing korrekt
20 präzisiert werden. Es werden dazu für die Interpolation neben den örtlich benachbarten auch zeitlich zurückliegende Bildpunkte verwendet. Eine Verringerung des Prädiktionsfehlers und somit eine Steigerung der Codiereffizienz ist die Folge.

25 Eine höhere Amplitudenauflösung der Bewegungsvektoren von bis zu $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{8}$ Bildpunkt kann mit den Maßnahmen der Erfindung erfolgreich eingesetzt werden und führt zu einer weiteren Verbesserung der Codiereffizienz. Die Abtastrate
30 des bereits übertragenen Referenzbildes muß dabei um den Faktor $L=4$ bzw. $L=8$ in horizontaler und vertikaler Richtung erhöht werden.

Die Erfindung beruht auf folgenden Erkenntnissen:

Aufgrund nicht idealer Tiefpässe im Aufnahme-prozeß kommt es zu Aliasing im digitalen zu codierenden Bildsignal. Das Aliasing hat zur Folge, daß das Bildsignal an Bildpunkten zwischen dem Abtastraster durch eine rein örtliche Interpolation nicht perfekt rekonstruiert werden kann und die bewegungskompensierende Prädiktion das Bildsignal nicht korrekt prädisieren kann. Es verbleibt ein Prädiktionsfehler, der in codierter Form übertragen werden muß. Die Größe des Prädiktionsfehlers bestimmt die Übertragungsrate sowie die Codiereffizienz.

Neuere Ansätze reduzieren mit Hilfe eines FIR-Filters das Aliasing im Prädiktionssignal und verbessern dadurch die Codiereffizienz [4]. Da aber das zu codierende Bildsignal Aliasing enthält, sollte das Aliasing im Prädiktionssignal nicht reduziert werden, sondern mit dem des Bildsignals $s(t)$ übereinstimmen, um dadurch die Größe des Prädiktionsfehler weiter zu verringern.

Der Erfindung liegen folgende Voraussetzungen zu Grunde: Wird ein sich nicht bewegendes, analoges Bild an den selben Positionen zu verschiedenen Zeitpunkten abgetastet, so sind die korrespondierenden Abtastwerte identisch. Dies gilt auch für den Fall, daß die Abtastfrequenz nicht groß genug ist und das abgetastete Bildsignal Aliasing enthält. Bewegt sich der Inhalt des das analogen Bildsignals um genau einen Bildpunkt, so sind die korrespondierenden Abtastwerte ebenfalls identisch und besitzen somit das gleiche Aliasing-Signal. Dies zeigt, daß das Aliasing eine Prädiktion eines um ganzzahlige Vielfache eines Bildpunktes verschobenen Bildinhalts nicht beeinflußt. Entsprechend bietet sich das erfindungsgemäße Verfahren zur Interpolation von Zwischenwerten an, welches vorangegangene, d. h. zeitlich zurückliegende Abtastwerte benutzt, um aktuelle Zwischenwerte zu rekonstruieren. Ist z. B. bekannt, daß sich

der Bildinhalt von Bild zu Bild um $\frac{1}{4}$ eines
Bildpunktabstandes bewegt, so kann ein Abtastwert benutzt
werden um den zugehörigen um $\frac{1}{4}$ Bildpunktabstand verschobenen
Bildinhalt im nächsten Bild zu rekonstruieren. Da dieser
5 Abtastwert zu einem früheren Zeitpunkt bereits auf dem
Abtastraster lag, enthält er das korrekte Bildsignal mit dem
korrekten Aliasing.

Basierend auf diesen Voraussetzungen werden bei der
10 Erfindung Abtastwerte aus vorangegangenen, d. h. zeitlich
zurückliegenden Bildern benutzt, um aktuelle Zwischenwerte
zu rekonstruieren. Der Filter kann somit das Bildsignal
inklusive des Aliasings korrekt prädisieren. Es verringert
den Prädiktionsfehler und steigert die Codiereffizienz.

15 Zeichnungen

An Hand der weiteren Zeichnungen werden Ausführungsbeispiele
der Erfindung näher erläutert. Es zeigen

20 Fig. 3 ein Blockschaltbild für ein Interpolationsfilter zur
Ausführung der Erfindung,

Fig. 4 das Prinzip der Erhöhung der Abtastrate für $L=2$,

Fig. 5 die Veranschaulichung der Funktionsweise des Merging-
Moduls,

25 Fig. 6 die experimentell ermittelte Rate für die
synthetische Testsequenz Syn Waves,

Fig. 7 die experimentell ermittelte Rate für die Testsequenz
"mobile & calendar".

30 Beschreibung von Ausführungsbeispielen

In Fig. 3 ist das Blockschaltbild eines
Interpolationsfilters dargestellt mit dem die Erfindung
ausgeführt werden kann. Dabei wurde auf der in Fig. 1
35 dargestellten Struktur aufgebaut. Die dort aufgeführten

Bezeichnungen, beispielsweise $s'(t-1)$ für das Referenzbild, werden auch nachfolgend verwendet.

In der Stufe 1 wird die Abtastrate des bereits übertragenen Referenzbildes $s'(t-1)$ um den Faktor L erhöht. Das Ergebnis der in Fig. 3 dargestellten Filterung ist das interpolierte Bild $s_u(t-1)$. Da zur Filterung gemäß Fig. 3 ein zeitlich rekursives Filter benutzt wird, wird es im folgenden als TRI-Filter (time-recursive interpolation filter) bezeichnet.

Das TRI-Filter besteht aus drei Stufen. Die erste Stufe ist der sogenannte Expander 1. Die zweite Stufe umfaßt die rekursive Struktur mit der Bewegungskompensation (motion compensation) 4 sowie dem Merging-Modul 3. Die dritte Stufe ist eine herkömmliche örtliche Interpolation (spatial interpolation) 5. Diese drei Stufen werden im folgenden näher beschrieben.

Im ersten Teil, dem Expander 1 wird die Abtastrate des Eingangsbildes - Referenzbildes - $s'(t-1)$ um den Faktor L erhöht. Dies geschieht, indem Zwischenwerte des Abtastrasters aus dem Referenzbild $s'(t-1)$ mit Marker-Werten m gefüllt werden (Fig. 4). Die Marker-Werte m kennzeichnen somit Zwischenwerte, die bisher noch nicht interpoliert worden sind.

Die folgende Gleichung beschreibt den Expander. In dieser Gleichung bezeichnen x und y die örtlichen Bildkoordinaten.

$$s_e(t-1, x, y) = \begin{cases} s'(t-1, \frac{x}{L}, \frac{y}{L}), & x, y = 0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ m, & \text{sonst} \end{cases}$$

In der zweiten Stufe wird das zeitlich zurückliegende Bild $s_{tri}(t-2)$ dazu verwendet, um die im Bild mit erhöhter

Abtastwerte $s_e(t-1)$ markierten Werte zu ersetzen. Dies geschieht mit Hilfe einer Bewegungskompensation (motion compensation) 4 von Bildpunkten des zeitlich zurückliegenden Bildes $s_{tri}(t-2)$, bei der die Bildpunkte entsprechend ihres bereits übertragenen Bewegungsvektors $L \cdot d(t-1)$ verschoben werden. Dabei ist zu beachten, daß die Bewegungsvektoren mit dem Faktor L multipliziert werden, da zur Kompensation ein Bild in einer um L erhöhten Auflösung verwendet wird. Im Merging-Modul 3 werden die im Bild $s_e(t-1)$ markierten Werte durch die entsprechenden Werte aus dem Bildsignal $\hat{s}_{tri}(t-1)$, welches am Ausgang der Bewegungskompensation 4 erscheint, ersetzt. Die folgende Gleichung beschreibt den Merging-Vorgang, dessen Ergebnis das Bild $s_{tri}(t-1)$ ist. Auch in dieser Gleichung bezeichnen x und y die örtlichen Bildkoordinaten.

$$s_{tri}(t-1, x, y) = \begin{cases} \hat{s}_{tri}(t-1, x, y), & s_e(t-1, x, y) = m \\ s_e(t-1, x, y), & \text{sonst} \end{cases}$$

Fig. 5 veranschaulicht die Funktionsweise des Merging-Moduls. Die Gleichung sowie die Fig. 5 zeigen, wie die beiden Bilder $s_e(t-1)$ und $\hat{s}_{tri}(t-1)$ zum Bild $s_{tri}(t-1)$ verschmolzen werden. An den Positionen, wo sich im Bild $s_e(t-1)$ ein Marker-Wert m befindet, wird der entsprechende Bildpunkt aus dem prädizierten Bild $\hat{s}_{tri}(t-1)$ verwendet. Alle übrigen Werte aus Bild $s_e(t-1)$ werden im Bild $s_{tri}(t-1)$ übernommen. Somit werden die Abtastwerte aus dem bewegungskompensierten Bild $\hat{s}_{tri}(t-1)$ verwendet, um Bildpunkte (Marker-Werte) im Bild $s_e(t-1)$ zu interpolieren.

Die dritte Stufe stellt eine rein örtliche Interpolation (spatial interpolation) 5 entsprechend [4] dar, bei der ausschließlich die verbleibenden markierten Werte des Bildes $s_{tri}(t-1)$ interpoliert werden. Das Ergebnis ist das interpolierte Bild $s'_u(t-1)$.

Zum Zeitpunkt $t=1$, für den kein Bild $s_{tri}(t-2)$ existiert, wird Bild $s_{tri}(t-1)$ mit Bild $s_e(t-1)$ initialisiert. Die markierten Werte in Bild $s_{tri}(t-1)$ werden daraufhin durch
5 eine örtliche Interpolation rekonstruiert. Dies entspricht einer herkömmlichen, rein örtlichen Interpolation.

Aufgrund der rekursiven Struktur, bei der Bildpunkte aus dem zeitlich zurückliegenden Bild $s_{tri}(t-2)$ benutzt werden, um
10 Bild $s_{tri}(t-1)$ zu erzeugen, ist eine unbegrenzte Verweildauer einzelner Bildpunkte im Bildspeicher 6 (s_{tri}) der für die Bewegungskompensation benötigt wird, möglich. Um zu verhindern, daß Bildpunktinformationen zu lange im Bildspeicher 6 verbleiben, wird für jeden Bildpunkt im
15 Speicher ein Zählindex bereitgestellt, der die Verweildauer der einzelnen Bildpunktinformationen angibt. Mit Hilfe dieser Indizes und eines zu Beginn festgelegten Schwellwertes werden Bildpunktinformationen, die eine gewisse Verweildauer überschreiten, aus dem Bildspeicher 6
20 entfernt. Die typische Verweildauer beträgt drei bis sechs Bilder.

Für die experimentellen Ergebnisse ist das TRI-Filter in die bestehende Software des Verifikationsmodells [1] integriert
25 worden. Dabei werden zwei verschiedene Modi mit unterschiedlichen Auflösungen der Bewegungsvektoren unterstützt. Im ersten Fall werden Bewegungsvektoren mit einer Auflösung von einem halben Bildpunkt und einer bilinearen Interpolation verwendet. In diesem Fall wird das
30 Referenzverfahren (ursprünglicher Coder) mit MPEG4-hp und das Verfahren mit dem neuen TRI-Filter mit TRI-hp bezeichnet (hp = half pel). Im zweiten Fall werden Bewegungsvektoren mit einer Auflösung von einem viertel Bildpunkt und einem aliasingreduzierenden Wiener-Filter verwendet. In diesem
35 Fall wird das Referenzverfahren mit MPEG4-qp und das neue

Verfahren mit TRI-qp bezeichnet (qp = quater pel). Für die rein örtliche Interpolation (spatial interpolation) im TRI-Filter wird dabei jeweils das entsprechende örtliche Interpolationsverfahren aus den Referenz-Codern verwendet.

5

Für die Erzeugung der Ergebnisse ist eine synthetische und eine reale Testsequenz verwendet worden. Die synthetische Sequenz wurde durch Abtastung zweier analoger Sinussignale erzeugt, wobei die Frequenz des ersten Sinussignal unterhalb und die des zweiten oberhalb der halben Abtastfrequenz liegt. Demzufolge verursacht das zweite Sinussignal Aliasing im abgetasteten Bildsignal. Weiterhin ist das analoge Bildsignal zwischen aufeinanderfolgenden Bildern um exakt einen halben Bildpunkt translatorisch verschoben. Diese Verschiebung kann durch die verwendeten Coder ohne Fehler geschätzt werden, so daß ein verbleibender Prädiktionsfehler auf eine unzureichende Interpolation zurückgeführt werden kann. Diese synthetische Sequenz wird mit Syn Waves bezeichnet. Bei der realen Testsequenz handelt es sich um die Testsequenz "mobile & calendar".

10
15
20

In Fig. 6 sind die Ergebnisse für die synthetische Sequenz Syn Waves zu sehen.

25

Obwohl die Bild-zu-Bild Verschiebung von einem halben Bildpunkt von allen Codern korrekt geschätzt werden kann, ist der Referenzcoder mit den konventionellen Interpolationsfiltern nicht in der Lage das Bildsignal korrekt zu prädisieren. Demzufolge muß noch eine erhebliche Datenrate für die Codierung des Prädiktionsfehlers bereitgestellt werden. Selbst der MPEG4-qp Coder, der mit einem Aliasing-reduzierenden Wiener-Filter arbeitet, kann das Bildsignal nur unzureichend prädisieren. Demgegenüber sind die Coder mit dem erfindungsgemäßen TRI-Filter in der Lage, das Bildsignal inklusive Aliasing korrekt zu

30

35

prädizieren, so daß eine erhebliche niedrigere Datenrate erforderlich ist. Der einzig verbleibende Prädiktionsfehler ist im Quantisierungsfehler begründet, der im Intraframe-Encoder entsteht.

5

In Fig. 7 sind die Ergebnisse für die reale Testsequenz "Mobile and Calandar" zu sehen. Es ist eine signifikante Verbesserung bei der Verwendung des TRI-Filters erkennbar. Zwischen MPEG4-hp und TRI-hp ist eine Verbesserung von 0,8 dB zwischen MPEG4-qp und TRI-qp eine Verbesserung von 0,4 dB festzustellen. Der Grund für den geringeren Gewinn gegenüber der Testsequenz Syn Waves liegt zum einen darin, daß die bewegungskompensierte Prädiktion durch Diaplacementschätzfehler gestört ist. Zum anderen hat das Aliasing-Signal keinen so großen Anteil am Gesamtsignal wie bei der synthetischen Sequenz.

10

15

Literaturstellen:

- [1] ISO/IEC 14496-2: "Final Draft International Standard of MPEG-4", Atlantic City, October 1998, MPEG98/N2502.
- [2] ISO/IEC/SC29/WG11: "Core Experiment on Motion and Aliasing-compensation Predicition (P8)", Stockholm, July 1997, MPEG97/N1180
- [3] U. Benzler, O. Werner, "Improving multiresolution motion compensating hybrid coding by drift reduction", Picture Coding Symposium 1996, March 1996, Melbourne.
- [4] WO99/04574 A1.

20

25

5 25.10.99 Sk/Mi

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche

15

1. Verfahren zur bewegungskompensierenden Prädiktion von
Bewegt Bildern unter Verwendung einer Interpolation mit
folgenden Schritten:

20

- zur Interpolation werden insbesondere neben örtlich
benachbarten Bildpunkten auch zeitlich zurückliegende
Bildpunkte berücksichtigt,
- zeitlich zurückliegende Bildpunktinformationen ($s_{tri}(t-2)$) werden benutzt, um ein bewegungskompensiertes
Bildsignal ($\hat{s}_{tri}(t-1)$) zu erzeugen, wobei diese
Bildpunktinformationen entsprechend ihres zuvor
ermittelten Bewegungsvektors verschoben eingesetzt
werden,

25

- die Bildpunktinformationen des bewegungskompensierten
Bildsignals ($\hat{s}_{tri}(t-1)$) werden in ein
Interpolationsraster zwischen den Bildpunkten eines
Referenzbildes ($s'(t-1)$) eingesetzt.

30

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß aus
dem Referenzbild ($s'(t-1)$) durch Abtastratenerhöhung ein
Zwischenbild ($s_e(t-1)$) erzeugt wird, in welchem
Zwischenbildpunkte zwischen den Bildpunkten des
Referenzbildes das Interpolationsraster bilden, wobei die
Zwischenbildpunkte durch Marker-Werte (m) gefüllt werden,

35

und daß die Marker-Werte (m) dort ersetzt werden, wo Bildpunktinformationen des bewegungskompensierten Bildsignals ($\hat{s}_{tri}(t-1)$) existieren.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, daß
Marker-Werte (m), die nicht durch Bildpunktinformationen
des bewegungskompensierten Bildsignals ($\hat{s}_{tri}(t-1)$)
ersetzt wurden, durch örtlich interpolierte Bildpunkte
ersetzt werden.
- 10
4. Einrichtung zur bewegungskompensierenden Prädiktion von
Bewegtbildern unter Verwendung einer Interpolation mit
folgenden Baugruppen:
- einer Abtastratenerhöhung (1) des Referenzbildes,
 - 15 - einer zeitlich rekursiven Bewegungskompensation (4) des
Referenzbildes mit Bildspeicher (2),
 - einem Merging-Modul (3) zur Einfügung
bewegungskompensierter Bildpunktinformationen in ein
Interpolationsraster zwischen den Bildpunkten des
20 Referenzbildes.
5. Einrichtung nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine
Interpolationsstufe (5) zur örtlichen Interpolation
solcher Zwischenbildpunkte eines Interpolationsrasters,
25 die nicht bereits im Merging-Modul (3) besetzt wurden.
6. Einrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch
gekennzeichnet, daß der Bildspeicher (6) in der
Bewegungskompensation (4) zu jedem neu eintreffenden
30 Bildpunkt einen Zählindex bereitstellt und daß ein
Bildpunkt, dessen Zählindex einer vorgegebenen
Verweildauer im Bildspeicher (6) entspricht, aus dem
Bildspeicher entfernt wird.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
gekennzeichnet durch die Verwendung eines zeitlich
rekursiven Interpolationsfilterbausteines.

25.10.99 Sk/Mi

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zur bewegungskompensierenden Prädiktion von
Bewegt Bildern sowie Einrichtung hierzu

Zusammenfassung

15

Zur bewegungskompensierenden Prädiktion von Bewegtbildern werden zur Interpolation eines Prädiktionsbildes erhöhter Auflösung neben örtlich benachbarten Bildpunkten auch zeitlich zurückliegende Bildpunktinformationen berücksichtigt.

20

Im Prädiktionsbild erhöhter Auflösung werden bewegungskompensierte Bildpunktinformationen in das Interpolationsraster zwischen den Abtastwerten des Referenzbildes ($s'(t-1)$) eingesetzt.

25

(Fig. 3)

1/4

R.37160

Fig. 1

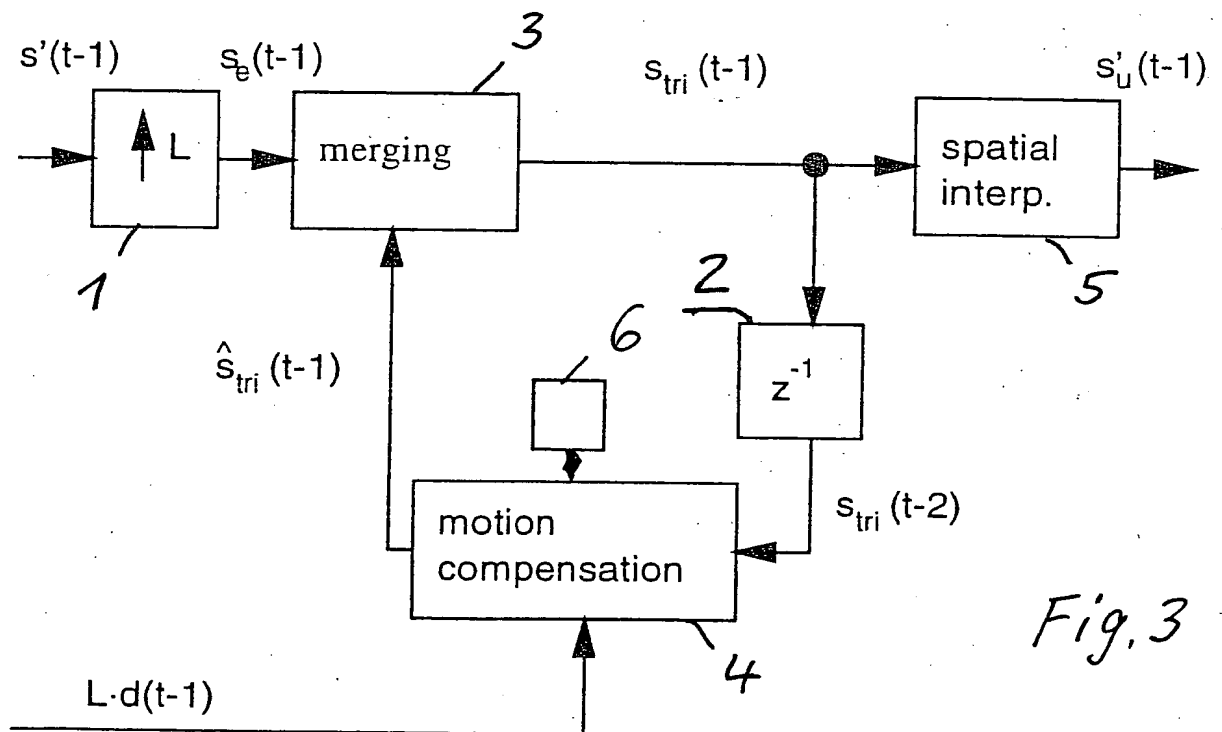
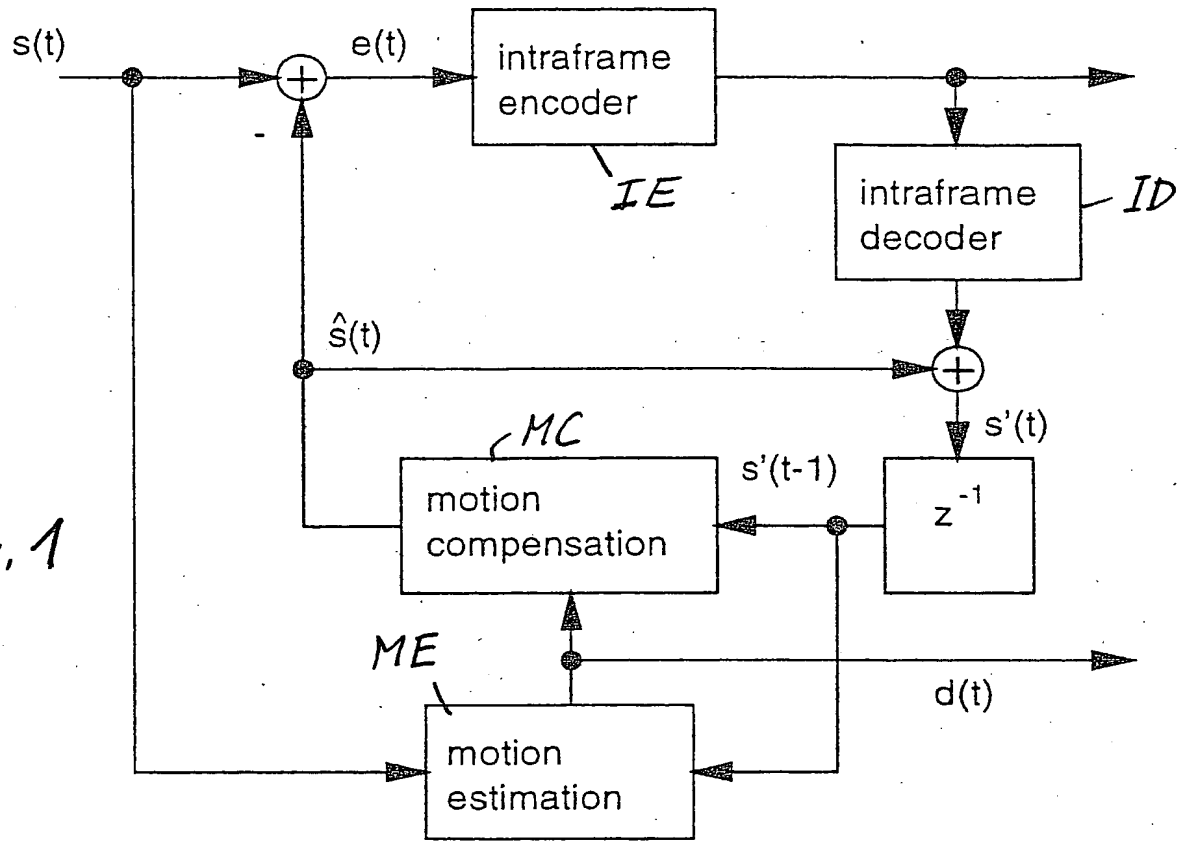


Fig. 3

2/4

R. 37/60

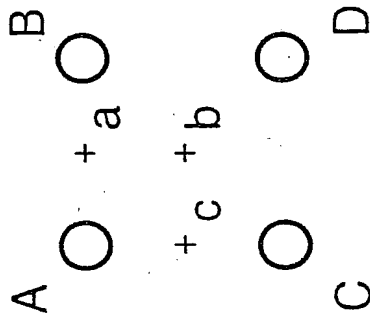
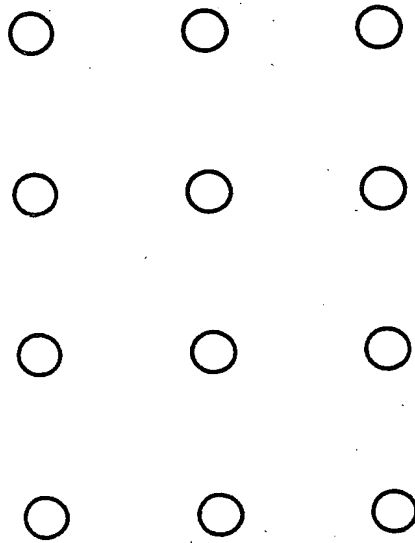
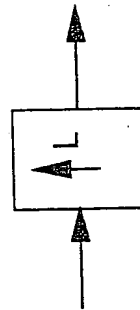


Fig. 2

Fig. 4

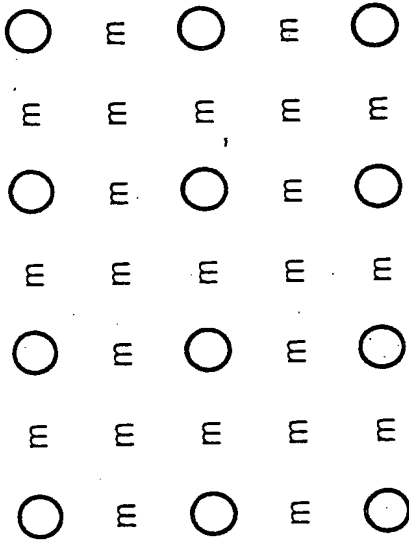


$s'(t-1)$



○ Abtastwert

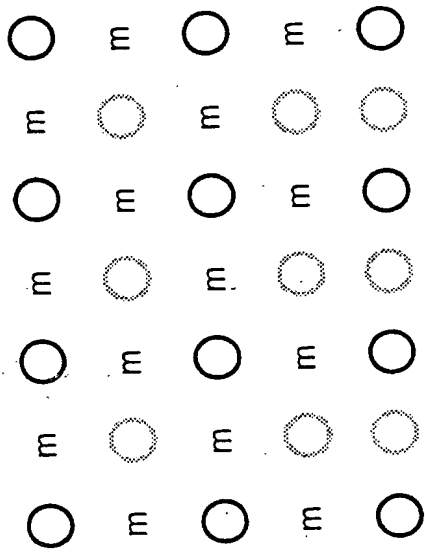
m Marker-Wert



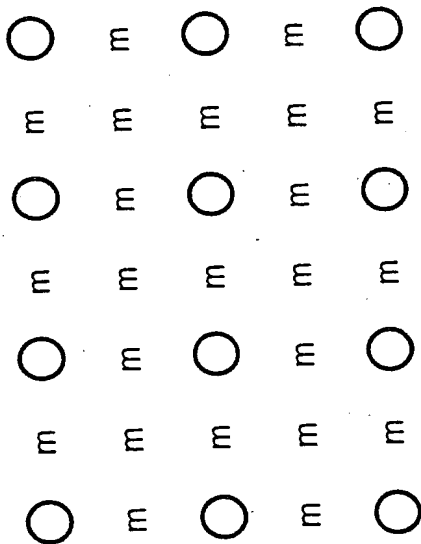
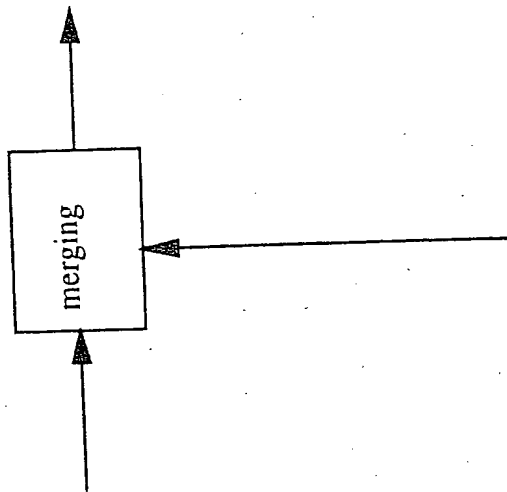
$s_e(t-1)$

3/4

R. 37160



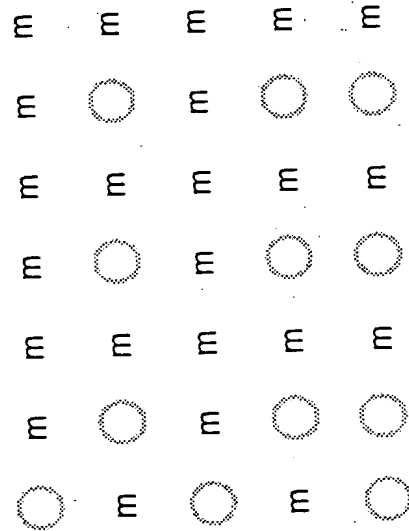
$s_{tri}(t-1)$



$s_e(t-1)$

Abtastwert aus $s_e(t-1)$
 Abtastwert aus $\hat{s}_{tri}(t-1)$

Marker-Wert



$\hat{s}_{tri}(t-1)$

Fig. 5

Fig. 7

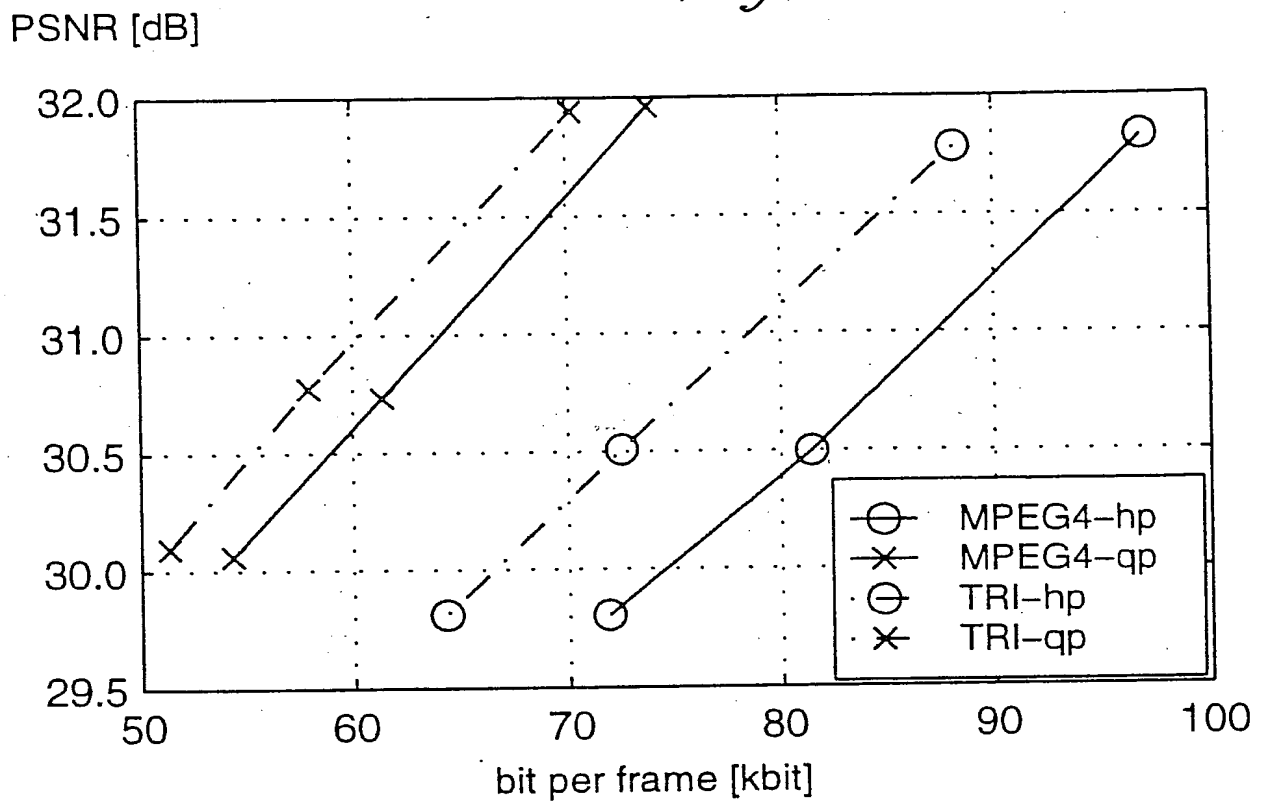


Fig. 6

